

# Résultats de quatre années de recherches sur la résistance de variétés d'arachide à l'*Aspergillus flavus*

C. ZAMBETTAKIS (1), F. WALIYAR (2), A. BOCKELÉE-MORVAN (3) et O. de PINS (4)

**Résumé.** — Au cours des quatre campagnes 1976-1977 à 1979-1980, sept essais comparant chacun une quarantaine de variétés d'arachide ont été réalisés au Sénégal sur les Stations de Bambey et Darou pour étudier leur comportement vis-à-vis de la contamination par *Aspergillus flavus*. Le taux de contamination naturelle aux champs est très différent selon les variétés et est en corrélation avec le taux de contamination des graines par inoculation artificielle effectuée au laboratoire du Muséum de Paris, ce qui montre la valeur de ce test utilisé pour la sélection de variétés résistantes. Une variété sénégalaise de valeur agronomique prouvée, la 55-437, a une résistance voisine du témoin de résistance PI 337-409. Deux autres variétés, 73-30 et 73-33, montrent également un comportement favorable sur plusieurs années et peuvent être considérées comme tolérantes.

## I. — INTRODUCTION

Depuis 1972, et plus intensément depuis 1974, un programme de recherche a été entrepris par l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles en collaboration en France avec le laboratoire de cryptogamie du Muséum national d'Histoire naturelle et l'I.R.H.O. pour la sélection de variétés d'arachides résistantes à la contamination par l'*Aspergillus flavus*.

Les expériences conduites avant 1976 [6, 7] ont permis de déterminer les conditions favorables à la contamination naturelle aux champs et les modalités de réalisation d'un test biologique de laboratoire par contamination artificielle des graines pour la sélection de variétés résistantes. Aux champs, une période de sécheresse en fin de cycle de culture favorise la contamination, alors que l'irrigation la réduit considérablement. Des différences significatives de contamination des gousses d'une part, des graines d'autre part, ont été trouvées entre les 33 variétés expérimentées en 1975. Le test d'inoculation artificielle des graines en laboratoire rend compte dans une large mesure des différences de contamination naturelle aux champs ; les résultats varient fortement en fonction de l'état de la graine c'est-à-dire des conditions de culture. Ces résultats ont conduit à réaliser les expérimentations aux champs sur deux stations à partir de 1977 : la station de Bambey dans le Centre-Nord du Sénégal pour les variétés ayant un cycle hâtif (90 j) ou semi-tardif (105-110 j) adapté à la climatologie de cette zone ; la station de Darou, dans le Sud du Sénégal pour les variétés tardives (120 j et plus). On a toutefois maintenu en commun sur les deux stations un groupe de 12 variétés ayant des caractéristiques très diverses de type (Spanish, Virginia), de cycle, de grosseur de graines, de résistance à la sécheresse et de résistance des graines à la contamination par *A. flavus* avec inoculation artificielle. En plus de ces variétés, on a testé chaque année et sur chaque station entre 20 et 30 variétés issues des programmes de sélection pour différents caractères tels que productivité, qualité des récoltes comme arachide

d'huilerie ou arachide de bouche, résistance à la sécheresse, etc., afin d'évaluer leur sensibilité à la contamination avant d'entreprendre leur diffusion éventuelle en grande culture.

En dehors de cet intérêt immédiat, le but de l'expérimentation était de trouver si possible des géniteurs de résistance à *A. flavus*, ayant des caractères agronomiques déjà bien adaptés au Sénégal (productivité, qualité, résistance à la sécheresse, etc.) et d'avoir la certitude que le choix des descendance réalisée à l'aide du test biologique sur graines (actuellement le seul utilisable comme étant suffisamment précis et fiable en conditions standardisées) permettrait d'obtenir des variétés effectivement moins contaminées aux champs. En effet, les expériences ont montré que d'autres facteurs que la résistance à la pénétration du champignon, offerte par le tégument séminal de la graine qui est seule mesurée par le test, pouvaient probablement intervenir, tels que la résistance à la sécheresse des variétés, la sensibilité aux attaques d'insectes du sol ou des iules (myriapodes) qui favorisent la pénétration du champignon. Ainsi des variétés très résistantes, d'après le test biologique, peuvent dans certaines conditions de culture être contaminées aux champs alors que certaines variétés sensibles au test peuvent être peu contaminées aux champs si la résistance de la coque à la pénétration intervient.

Nous décrivons ci-après les expérimentations réalisées en 1976 sur la station I.S.R.A. de Darou, et en 1977-78-79 sur la station de Darou et au C.N.R.A. de Bambey. Pour certaines interprétations pluriannuelles, nous avons également utilisé les résultats déjà publiés [7] des expérimentations 1975 de Darou.

## II. — MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 1. — Expérimentation aux champs.

Dans les conditions du Sénégal, caractérisées par une saison des pluies de 3 à 5 mois du Nord au Sud suivie d'une longue saison sèche bien marquée, le mode de contamination par *Aspergillus flavus*, de loin le plus important, est la contamination dans le sol en fin de cycle de l'arachide. Après la récolte, les plantes sèchent rapidement sur le champ au soleil et la teneur en eau des graines tombe

(1) Maître de Recherche au C.N.R.S. Laboratoire de Cryptogamie du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris (L.A. 257 C.N.R.S.).

(2) Assistant au laboratoire de cryptogamie du Muséum.

(3) Département Oléagineux annuels de l'I.R.H.O. — 11, Square Pétrarque, 75016 Paris (France).

(4) Ingénieur de Recherche à l'I.R.H.O., détaché à l'I.S.R.A.

rapidement au-dessous de 10 p. 100. Il est exceptionnel que des pluies surviennent après la récolte ce qui peut entraîner un développement de l'*Aspergillus flavus*, d'autant plus que la réhumidification des gousses rend la coque plus perméable à l'invasion du champignon.

Le premier objectif de l'expérimentation aux champs est de mesurer la contamination naturelle dans le sol des diverses variétés dans les conditions normales de la culture. L'expérimentation est réalisée sur deux stations :

- Bambey : pluviométrie moyenne 650 mm, durée de la saison des pluies  $104 \pm 34$  j ;
- Darou : pluviométrie moyenne 700 mm, durée de la saison des pluies  $115 \pm 18$  j.

Plus que la pluviométrie totale, c'est la longueur et l'irrégularité de la saison des pluies qui différencient les deux stations.

Sur chaque station, deux dates de semis sont réalisées. Le 1<sup>er</sup> semis, dès la première pluie, est en principe peu favorable à la contamination dans le sol si la saison des pluies est normale. Le 2<sup>e</sup> semis est décalé normalement d'un mois, moins si le 1<sup>er</sup> semis est tardif à cause du retard des premières pluies et il est en principe exposé à une sécheresse de fin de cycle favorable à la contamination dans le sol de l'arachide (Tabl. I).

TABLEAU I. — Dates de semis  
(Sowing dates)

		1976	1977	1978	1979
Darou	1 <sup>re</sup> date (1st date)	16/7	8/7	28/6	26/6
	2 <sup>e</sup> date (2nd date)	10/8	21/7	26/7	26/7
Bambey	1 <sup>re</sup> date (1st date)	—	8/7	21/7	11/7
	2 <sup>e</sup> date (2nd date)	—	22/7	31/7	20/7
Pluviométrie annuelle (Annual rainfall)					
	Darou (mm)	495	438	750	807
	Bambey (mm)	399	372	691	527

Les variétés expérimentées chaque année figurent dans les tableaux des résultats. Sur chaque station, on a 2 dates de semis  $\times$  2 répétitions par variété (6 ou 7 lignes de 6 mètres par parcelle). La récolte intervient, pour chaque date de semis du tableau I, environ 90 j après pour les tardives, 105 j pour les semi-tardives et 120 j pour les tardives, ces longueurs de cycle théoriques étant ajustées en fonction des conditions de l'année pour récolter à bonne maturité.

Le séchage est réalisé naturellement par exposition au soleil des plantes après arrachage, puis par étalage des gousses à l'air au laboratoire.

## 2. — Mesures au laboratoire.

Les mesures effectuées et les techniques expérimentales employées ont été décrites plus en détail précédemment [5, 7]. La contamination naturelle des gousses est mesurée au laboratoire sur un échantillon de 300 gousses par parcelle (1 200 par variété et par station) par examen au stéréoscope binoculaire. Le taux de contamination, exprimé en p. 1000, est le rapport du nombre de gousses portant des colonies d'*A. flavus* au nombre total des gousses.

Chaque échantillon de 300 gousses est ensuite décortiqué à la main et on compte les graines montrant au stéréoscope binoculaire des colonies visibles d'*A. flavus*. Le taux de contamination est exprimé, comme pour les gousses, pour mille graines.

Le test biologique par inoculation artificielle est réalisé sur une des deux répétitions et pour les deux dates de semis. Il porte pour chaque date de semis sur  $4 \times 25$  graines saines par boîte de Pétri. On note à partir du 5<sup>e</sup> jour d'inoculation le nombre de graines sur 25 montrant des colonies visibles d'*A. flavus*, le taux de contamination est exprimé en p. 100.

## III. — RÉSULTATS

### 1. — Influence de la date de semis.

Elle est très importante pour la contamination naturelle (Tabl. II). Le semis de la deuxième date est en général le

TABLEAU II. — Contamination naturelle des graines  
(Natural contamination of the kernels) — P. 1 000

Variétés (Varieties)	1977				1978				1979				Moyenne générale (General average)
	Bambey		Darou		Bambey		Darou		Bambey		Darou		
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	
75-17 (1)	65,0	12,2	6,4	2,0	1,3	35,3	1,6	33,2	0,8	4,3	6,8	0	14,0
75-18 (1)	12,8	7,3	1,0	5,0	22,0	68,3	2,6	64,1	7,6	1,6	7,6	0	16,6
55-437 (1)	17,2	5,0	1,5	0	7,5	14,8	0,8	28,3	0,7	2,6	6,9	0	7,1
73-30 (1)	7,7	5,1	4,9	3,1	6,0	18,1	2,6	64,6	2,5	3,0	5,4	1,9	10,4
Florunner (2)	0,8	30,2	3,2	13,2	6,6	117,1	0,9	5,2	4,0	26,9	3,6	1,9	17,8
57-422 (2)	5,0	23,3	8,9	20,3	8,5	66,0	1,7	9,9	11,8	21,9	1,8	11,2	15,8
73-33 (2)	4,0	14,6	4,2	9,7	9,0	48,9	0,8	4,6	4,2	29,4	1,7	2,6	11,1
GH 119 20 (3)	23,3	2,5	20,8	20,8	84,6	40,4	72,6	57,9	15,8	43,6	2,2	56,0	36,7
47-16 (3)	8,4	8,0	30,8	26,2	72,7	22,3	27,9	38,6	4,2	0,9	0,9	0,9	20,1
Tifton 8 (3)	66,1	2,1	12,1	22,3	37,9	51,4	18,5	13,0	25,8	108,5	1,5	32,3	32,6
70-112 (3)	61,0	0	14,6	7,1	75,6	10,7	30,7	22,0	15,8	0	0	71,1	25,7
59-127 (3)	11,2	0	10,8	17,4	141,7	17,0	8,5	22,7	17,2	1,7	0	40,3	24,0
Moyenne (Average)	23,5	9,1	9,9	12,2	39,4	42,5	14,1	30,3	9,2	20,3	3,2	18,1	19,3
(75-16) (3)					(41,3)	(50,9)	(16,0)	(94,9)	(38,1)	(41,5)	(51,0)	(4,7)	(42,3)

(1) Variétés hâtives (hasty varieties) — (2) Variétés semi-tardives (semi-late varieties) — (3) Variétés tardives (late varieties).

S1 = 1<sup>re</sup> date de semis (1st sowing date) — S2 = 2<sup>e</sup> date de semis (2nd sowing date).

plus contaminé en raison d'une plus grande sécheresse en fin de cycle, favorable à la contamination dans le sol. Ainsi, on constate dans le tableau II, où figurent seulement les variétés communes aux deux stations de Bambey et Darou pendant les 3 années 1977-1978 et 1979, que ce sont les 2<sup>e</sup> semis qui sont en moyenne les plus contaminés dans 5 essais sur 6. Toutefois, le déficit hydrique en fin de cycle peut être très différent selon la longueur du cycle végétatif des variétés (90, 105 ou 120 j) et dépend des réserves d'eau du sol, du développement végétatif de chaque variété, de sa consommation en eau, de la pluviométrie journalière, etc.

A Bambey, en 1977, c'est le 1<sup>er</sup> semis qui a été le plus fortement contaminé en moyenne mais sur les 12 variétés qui figurent au tableau II, les résultats sont très différents selon qu'il s'agit de variétés hâtives (cycle 90 j : 75-17, 75-18, 55-437, 73-30), de variétés semi-tardives (cycle 105-110 j : Florunner, 57-422, 73-33) ou tardives (cycle 120 j : GH 119-20, 47-16, Tifton 8, 70-112, 59-127). Les variétés hâtives et tardives ont été plus contaminées au premier semis qu'au second semis alors que c'est l'inverse pour les variétés semi-tardives.

L'analyse de la pluviométrie de la campagne 1977 à Bambey permet de faire des hypothèses qui expliquent ces différences de comportement. Les pluies ont été très réduites (Tabl. I) et, à partir de la mi-septembre, toutes les variétés ont fortement souffert de la sécheresse car il n'est tombé que 14,7 mm de pluie dans la dernière décade de septembre et 2 mm dans la 1<sup>re</sup> décade du mois d'octobre. Puis, le 14 octobre est survenue une pluie importante (41,3 mm) qui a été la dernière de la campagne.

Les variétés hâtives du premier semis étaient déjà récoltées (6 octobre) après une sévère sécheresse en fin de cycle, qui explique leur forte contamination alors que les variétés hâtives du 2<sup>e</sup> semis ont pu profiter de cette pluie.

Pour les variétés tardives du 1<sup>er</sup> semis, on peut émettre l'hypothèse que cette pluie est survenue au moment où les gousses étaient déjà formées et avaient commencé à se dessécher dans le sol. La pluie du 14 octobre les aurait imbibées à nouveau, provoquant des distensions et des

cassures du tégument séminal favorisant la pénétration de l'*A. flavus*. Par contre, les variétés tardives du 2<sup>e</sup> semis ont été très peu contaminées malgré une sécheresse de fin de cycle très sévère puisqu'elles n'ont été récoltées que le 15 novembre, plus d'un mois après la dernière pluie. Peut-être qu'à cette période l'humidité du sol était tombée à un niveau trop bas pour que l'*A. flavus* puisse contaminer les arachides.

L'influence de la date de semis sur les résultats du test biologique n'est pas négligeable et avait été mise en évidence antérieurement [6]. Des différences significatives de comportement au test biologique de certaines variétés entre les graines issues des 2 dates de semis se manifestent en relation avec le taux de contamination naturelle (Tabl. III). On peut penser que les graines d'apparence saine qui sont choisies pour le test biologique présentent des altérations microscopiques du tégument séminal dues aux conditions de maturation difficiles et qui favorisent la pénétration du champignon.

## 2. — Contamination naturelle des gousses.

Dans le tableau IV on a fait figurer les résultats moyens (1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> semis) des mesures de contamination naturelle des gousses et des graines ainsi que du test biologique. Pour les diverses années et les diverses stations, il y a en général une corrélation hautement significative entre la contamination externe des gousses et la contamination des graines, celle-ci étant toujours moins importante [1, 4, 5, 6]. On note de grandes différences dans la contamination naturelle des gousses des différentes variétés qui se classent en général pour ce critère dans le même ordre que pour la contamination naturelle des graines. Ces données permettent de penser que la coque est un élément qui peut participer, comme le tégument séminal de la graine, à la résistance ou à la sensibilité des variétés. Certaines variétés montrent, d'après le test biologique sur graines, une sensibilité assez grande à la contamination alors qu'aux champs elles peuvent montrer un taux de contamination naturelle faible. Nous avons commencé des expérimentations en laboratoire sur certaines de ces variétés.

TABLEAU III. — Test biologique (*Biological test*)

(taux de contamination en p. 100 des graines inoculées — *contamination rate in p. 100 of inoculated kernels*)

Variétés (Varieties)	1977				1978				1979				Moyenne générale (General average)
	Bambey		Darou		Bambey		Darou		Bambey		Darou		
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	
75-17 (1)	21	9	21	9	3	9	5	9	4	5	3	2	8,33
75-18 (1)	21	7	10	7	9	13	10	21	8	9	13	16	14,00
55-437 (1)	13	9	9	7	12	11	14	11	4	8	5	4	8,91
73-30 (1)	10	18	17	13	14	16	10	18	4	9	5	9	11,91
Florunner (2)	19	19	13	26	39	34	19	20	46	40	16	25	26,33
57-422 (2)	30	49	25	54	53	58	52	46	26	26	18	41	39,83
73-33 (2)	14	20	14	11	26	30	14	16	6	14	6	15	15,50
GH 119 20 (3)	51	45	37	38	54	57	60	52	36	38	26	55	45,75
47-16 (3)	21	32	23	38	31	31	33	35	57	66	39	47	37,75
Tifton 8 (3)	42	51	32	27	34	47	62	35	58	44	47	43	43,50
70-112 (3)	26	43	40	31	56	42	28	21	17	53	49	36	36,83
59-127 (3)	37	22	34	46	49	49	42	40	42	35	28	57	40,08
Moyenne (Average)	25,41	27,00	22,91	25,58	31,66	33,08	29,08	27,00	25,66	28,91	21,25	29,16	27,39
(75-16) (3)					(82)	(80)	(92)	(64)	(72)	(98)	(73)	(77)	(79,75)

(1) Variétés hâtives (*hasty varieties*) — (2) Variétés semi-tardives (*semi-late varieties*) — (3) Variétés tardives (*late varieties*).

S1 = 1<sup>re</sup> date de semis (*1st sowing date*) — S2 = 2<sup>e</sup> date de semis (*2nd sowing date*).

TABLEAU IV. — Essais variétés aflatoxine  
(Aflatoxine varieties trials)

Variétés (Varieties)	CN-GOU — 1 —	CN-GR — 2 —	TB — 3 —	Variétés (Varieties)	CN-GOU — 1 —	CN-GR — 2 —	TB — 3 —		
Darou	1976			Darou	1977				
75-17	11,3	3,0	7	75-17	8	4,2	15		
75-18	10,9	4,9	10,5	75-18	7	2,9	9,5		
55-437	14,2	1,3	17	55-437	1,5	0,8	8		
73-30	63,1	18,6	25	73-30	7,5	4,1	15		
Florunner	10,5	10,5	27,5	Florunner	20,5	8,3	19,5		
57-422	43,6	14,9	38,5	57-422	29,5	15,1	39,5		
73-33	9,1	5,2	41,5	73-33	14,5	7,0	12,5		
GH 119-20	41,3	15,5	57	GH 119-20	38,5	21,2	37,5		
47-16	69,4	19,0	36	47-16	61,5	29,5	31,5		
Tifton 8	81,6	29,6	47,5	Tifton 8	28,5	17,6	29,5		
70-112	12,7	5,0	18	70-112	18	11,1	35,5		
59-127	15,1	6,4	31,5	59-127	18,5	14,2	40		
28-206	24,3	3,5	28,5	28-206	81	49,9	32		
NC-17	60,7	7,9	41	69-102	14	6,8	24,5		
Shulamit	40,9	22,4	52,5	UF 73-111	21,5	12,8	32,5		
UF 72-513	39,6	5,4	18	Altika	31	21,2	28,5		
Darou IV	106,1	44,1	67	UF 72-409	37	18,1	36		
EH 303-4	88,4	28,6	51	75-68	36,5	25,5	39		
EH 282 bis 2	48,6	25,9	46	75-105	52,5	43,0	28,5		
EH 349 bis	64,1	25,5	49	V 578	56	26,8	27,5		
NC 5	58,3	18,9	60,5	NC 5	38	20,8	29		
FLA 393-6	9,0	7,5	30,5	UF 72-405	56,5	31,0	41		
US 26	75,1	18,2	31,5	V 586	59	35,8	24		
FLA 393-9	62,3	21,2	45,5	FLA 393-9	58,5	36,8	40,5		
Florigiant	61,3	20,2	42,5	UF 73-417	60,5	33,4	46		
EH 310-9	59,9	21,1	47,5	UF 72-414	73,5	39,3	42,5		
R 295 bis 1	60,9	22,8	52,5	R 295 bis 1	62	28,9	43,5		
EH 301-13	75,5	31,4	63,5	UF 72-311	80,5	43,7	38		
EH 273-2-15	71,1	20,3	66,5	UF 73-115	95	36,9	36,5		
EH 295-2-2	87,9	29,3	59	UF 72-406	104,5	47,0	55,5		
EH 304 bis 16	41,2	11,9	53	75-86	108,5	59,8	32,5		
756 A	20,1	27,6	71	756 A	37	15,0	51		
V 781	40,1	21,6	58	68-104	521,5	237,1	20		
57 313	74,0	23,4	51,5	73-27	44	14,2	57,0		
69-101	19,7	9,1	38	73-29	58	20,7	50,5		
73-28	49,3	22,7	76	73-28	71,5	26,3	39,0		
				UF 72-415	74	25,7	66		
Darou	1978			Darou	1979				
75-17	68,5	17,3	7,0	A	75-17	13,3	3,3	2,5	A
75-18	84,6	33,2	15,5	ABC	75-18	16,6	3,7	14,5	EFG
55-437	55,5	14,5	12,5	AB	55-437	13,3	3,4	4,5	AB
73-30	104,1	33,6	14,0	ABC	73-30	11,6	3,6	7,0	BCD
Florunner	12,2	3,0	19,5	BCDE	Florunner	11,7	2,7	20,5	FGHI
57-422	17,0	5,8	49,0	IJKLMNOP	57-422	257,2	6,5	29,5	HIJK
73-33	8,1	2,6	15,0	BCD	73-33	23,7	2,1	10,5	CDE
GH-119-20	408,9	65,2	56,0	LMNOP	GH-119-20	112,8	29,0	40,5	KLMN
47-16	105,2	33,2	34,0	EFGHI	47-16	12,1	0,8	43,0	KLMNO
Tifton 8	53,4	15,6	48,5	IJKLMNOP	Tifton 8	213,1	16,9	45,0	LMNO
70-112	121,1	26,2	24,5	BCDEF	70-112	271,4	35,5	42,5	KLMNO
59-127	49,5	15,6	41,0	GHIJKLM	59-127	102,4	20,1	42,5	KLMNO
75-16	381,1	71,9	78,0	Q	75-16	249,9	27,8	75,0	R
28-206	109,5	42,6	29,5	EFGH	28-206	15,4	1,4	22,0	FGHI
FLA 393-6	159,4	51,7	59,5	OP	FLA 393-6	295,6	28,9	55,0	OPQ
Altika	84,3	26,7	39,5	FGHIJK	Altika	48,8	18,4	35,5	JKLM
UF 72-109	102,3	34,5	64,5	P	UF 72-109	143,6	8,8	42,5	KLMNO
UF 73-311	18,2	4,6	24,5	BCDEF	UF 73-311	6,7	2,7	21,5	FGHI
75-72	137,1	51,4	57,0	MNOP	75-72	354,2	52,6	46,5	LMNOP
69-101	50,4	16,9	28,5	DEFGH	69-101	50,2	4,6	37,0	JKLMN
EH 303-4	106,7	38,7	44,0	HIJKLMNOP	UF 72-405	453,0	3,6	38,5	JKLMN
UF 72-405	50,3	4,6	54,0	KLMNOP	RMP 12	19,0	1,4	60,0	PQ
V 586	141,8	53,6	41,0	GHIJKLM	V 586	269,0	12,4	29,5	HIJM
57-313	59,2	24,7	26,0	CDEFG	57-313	60,0	9,7	36,5	JKLMN
68-124	172,4	72,7	37,0	FGHIJ	V 204	24,9	5,4	25,0	GHIJ
UF 72-414	112,8	42,1	38,5	FGHIJKL	UF 72-414	30,4	11,1	47,0	MNOP
EH 349 bis	127,2	51,8	34,5	FGHI	270	20,3	4,3	32,0	IJKL
UF 72-311	177,3	24,7	43,5	HIJKLMN	UF 72-311	184,5	9,8	26,0	GHIJ
V 524	190,4	57,5	39,5	FGHIJKL	106	30,0	6,0	29,5	HIJK
UF 72-406	243,7	85,3	58,0	NOP	UF 72-406	509,3	108,5	62,0	Q



75-86	68,3	28,6	29,5	EFGH	75-86	62,4	15,1	42,5	KLMNO
756 A	123,7	37,7	54,0	KLMNOP	V 205	73,8	11,3	13,0	DEF
68-104	77,3	34,6	26,5	CDEFG	68-104	197,0	70,8	19,0	EFGH
73-27	119,6	44,3	41,0	GHIJKL	73-27	212,0	18,3	50,5	NOPO
73-29	72,8	29,9	29,5	EFGH	PI 1164	192,4	22,2	36,5	JKLMN
73-28	70,3	25,3	38,5	FGHIJK	73-28	270,3	20,7	60,5	PQ
UF 72-304	205,6	61,1	51,5	JKLMNOP	UF 72-304	157,0	32,2	61,0	Q
75-97	70,0	24,6	31,0	EFGH	75-97	4,6	0,8	57,5	PQ
75-114	115,9	40,8	29,0	EFGH					
75-112	129,1	40,5	52,0	JKLMNOP	75-112	19,6	4,7	45,0	LMNO

Bambey 1977				Bambey 1978				Bambey 1979			
Variétés (Varieties)	CN-GOU — 1 —	CN-GR — 2 —	TB — 3 —	Variétés (Varieties)	CN-GOU — 1 —	CN-GR — 2 —	TB — 3 —	Variétés (Varieties)	CN-GOU — 1 —	CN-GR — 2 —	TB — 3 —
75-17	52,5	42,1	15	75-17	28,4	18,2	6,0 A	75-17	11,9	2,5	4,5 A
75-18	20	10,2	14	75-18	161,4	45,2	11,0 AB	75-18	12,7	4,5	8,5 BC
55-437	22	11,3	11	55-437	23,6	11,1	11,5 AB	55-437	6,5	1,6	6,0 AB
73-30	14	6,4	14	73-30	34,3	11,9	15,0 BCD	73-30	6,4	2,7	6,5 AB
Florunner	27,5	16,2	19	Florunner	171,5	61,8	36,5 GHIJK	Florunner	99,0	15,4	43,0 KLM
57-422	26,5	14,4	39,5	57-422	90,4	37,2	55,5 N	57-422	111,1	16,8	26,0 EFGHIJ
73-33	13	9,5	17	73-33	65,3	28,9	28,0 EFGH	73-33	37,8	16,7	10,0 BCD
GH 119-20	20	18,7	48	GH 119-20	162,4	62,4	55,5 N	GH 119-20	151,1	29,6	37,0 IJKL
47-16	8,5	4,6	26,5	47-16	151,0	47,5	31,0 FGHIJ	47-16	13,3	2,5	61,5 N
Tifton 8	72,5	28,6	46,5	Tifton 8	115,6	44,6	40,5 IJKLM	Tifton 8	317,9	67,1	51,0 MN
70-112	55,5	34,1	34,5	70-112	117,8	43,1	49,0 KLMN	70-112	47,2	7,9	35,0 HIJK
59-127	11	5,6	29,5	59-127	181,8	79,2	49,0 KLMN	59-127	30,7	9,4	38,5 JKLM
UF 72-101	8	5,0	20,5	75-16	272,1	135,7	81,0 O	75-16	542,2	39,8	85,0 O
R 295 bis 1	13,5	11,4	61	75-29	34,2	12,3	13,5 BC	75-29	16,4	1,7	10,5 BCD
UF 73-217	15,5	10,8	28,5	UF 73-217	113,3	36,2	26,5 EFGH	UF 73-217	18,8	4,8	19,0 DEF
75-88	16,5	7,6	31	75-88	77,8	33,8	44,0 JKLMN	75-88	39,1	9,5	25,5 EFGHIJ
75-46	19	9,0	21	75-46	33,8	22,0	22,5 CDEF	Floriphan	20,1	3,1	23,5 EFGH
75-91	21	7,1	19,5	75-91	25,7	9,9	39,5 HIJKL	59-224 RC	29,0	1,8	17,5 DEF
75-92	21	7,5	24,5	75-92	163,9	49,4	47,5 JKLMN	V 737	249,1	46,6	48,5 LM
V 755	21,5	13,2	25,5	V 755	57,2	22,6	54,0 MN	V 755	64,1	10,3	17,5 CDEF
75-28	22,5	15,7	30,5	75-30	37,1	16,9	23,0 CDEF	75-30	9,6	2,4	5,5 AB
75-33	23,5	12,3	25	75-33	155,0	64,7	34,0 FGHIJ	75-33	26,6	3,4	23,0 EFGH
NC 5	24,5	17,6	51,5	75-26	40,5	18,7	13,5 BC	75-26	8,4	1,7	20,0 EFG
75-98	25	16,6	28	75-98	204,8	73,2	32,5 FGHIJ	75-98	104,1	22,4	33,0 HIJK
75-50	26	19,0	25,5	75-50	259,9	103,5	36,5 GHIJK	75-50	59,2	8,6	17,0 CDEF
75-27	28	19,4	27	75-27	55,2	20,2	18,5 BCDE	75-27	9,9	1,2	18,5 DEF
FLA 393-9	29,5	19,3	47,0	UF 72-109	49,3	25,7	51,5 LMN	UF 72-109	278,4	96,0	51,5 MN
Chico	33	16,6	30	Chico	40,8	20,1	18,0 BCDE	Chico	40,5	12,3	25,0 EFGHI
V 752	33	16,6	45,5	V 752	67,8	55,1	25,0 DEFG	V 752	76,8	17,4	42,5 KLM
75-125	37,5	22,2	12,5	68-107	68,4	30,8	23,0 CDEF	68-107	13,6	4,0	16,0 CDE
70-111	37,5	13,4	17	70-111	195,5	75,4	25,0 DEFG	70-111	47,1	10,1	27,5 FGHIJ
75-7	38	20,8	11,5	75-129	84,1	26,4	55,5 N	75-129	48,2	12,4	51,5 MN
75-25	48	24,2	24,5	FLA 393-6	33,6	40,1	40,5 IJKLM	FLA 393-6	134,4	35,8	43,5 KLM
				Altika	124,7	47,1	39,0 HIJKLM	Altika	276,3	51,3	31,0 HIJK
				UF 72-101	148,0	49,7	29,0 EFGH	UF 72-101	109,0	25,5	18,5 DEF
				68-111	216,1	75,4	18,5 BCDE	68-111	8,1	2,0	11,0 BCD
								75-99	119,8	46,2	34,5 HIJK

- 1 — Contamination naturelle des gousses (*Natural contamination of the pods*) (p. 1 000)
- 2 — Contamination naturelle des graines (*Natural contamination of the kernels*) (p. 1 000)
- 3 — Test biologique (*Biological test*) = contamination (p. 100)

### 3. — Contamination naturelle des graines.

La mesure de la contamination naturelle des graines, comme celle des gousses, est relativement imprécise puisqu'elle s'effectue à partir d'échantillons de 300 gousses qui, après décorticage, donnent environ 600 graines ou moins. D'autre part, cette contamination naturelle dépend beaucoup des conditions climatiques et de la date de semis et de récolte comme nous l'avons vu plus haut. Le fait qu'une variété ne soit pas contaminée, dans nos essais aux champs, peut être dû simplement à ce que les conditions de culture n'étaient pas favorables à la contamination. Notre dispositif expérimental, avec deux dates de semis,

permet d'avoir des résultats correspondant à des conditions variées en ce qui concerne la sévérité de la contamination par *A. flavus*.

Le test biologique par inoculation artificielle est beaucoup plus précis et sert de critère de sélection pour l'obtention de variétés résistantes au Sénégal et dans d'autres pays. S'agissant d'un test artificiel, il est très important de s'assurer que ses résultats sont concordants avec les taux de contamination observés aux champs en conditions naturelles. Cette concordance peut ne pas être stricte puisque le test biologique ne mesure que la résistance opposée par le tégument séminal à la pénétration du champignon alors que d'autres facteurs peuvent

intervenir, comme la résistance de la coque, la résistance à la sécheresse, etc. Cependant, nous devons nous assurer qu'en sélectionnant les variétés et les descendance d'hybrides à l'aide du test biologique, nous aboutirons à des variétés qui, dans les conditions normales de culture, seront en moyenne beaucoup moins contaminées que les variétés susceptibles. Nous examinerons plus en détail plus loin les relations observées entre les résultats du test biologique et la contamination naturelle.

#### 4. — Test biologique.

Les résultats qui figurent dans le tableau IV sont la moyenne des tests biologiques effectués sur des graines saines, issues des 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> semis. L'interprétation statistique a été faite à partir des 8 répétitions à l'aide du test de Duncan au seuil 5 p. 100 après transformation angulaire des données en 1978 et 1979, et figure dans les tableaux. En 1976 et 1977, l'interprétation a été faite en blocs de Fisher après transformation des données.

**1976** — Le taux de contamination pour les 36 variétés testées à Darou varie de 7 à 76 p. 100. Les 3 premières variétés, 75-17 (7 p. 100), 75-18 (10,5 p. 100) et 55-437 (17 p. 100) ne sont pas différentes statistiquement.

75-17 et 75-18 sont les deux variétés reconnues résistantes par Mixon [2], respectivement PI 337-409 et PI 337-394 P. La variété 55-437 est une variété de type Spanish sélectionnée à Bambey pour sa résistance à la sécheresse.

On peut mentionner la variété US 26 qui, en 1975, avait montré une assez bonne résistance au test (10 p. 100 de contamination, contre 4,5 p. 100 pour 75-17). En 1976, elle se classe dans la moyenne avec 31,5 p. 100 et surtout une sensibilité importante pour les graines issues du 2<sup>e</sup> semis (45 p. 100) et ayant souffert de la sécheresse en fin de cycle.

**1977** — A Darou, les 5 premières variétés ne sont pas différentes statistiquement. Aux trois précédentes, s'ajoutent la 73-33, variété semi-tardive sélectionnée au Sénégal pour sa résistance à la sécheresse, et la 73-30 qui est une variété à cycle court (90 j), résistante à la sécheresse et dormante.

A Bambey, la variété 55-437 est la moins contaminée mais les conditions particulières de culture ont rendu le test peu sélectif et 11 variétés, parmi lesquelles celles déjà citées, ne sont pas différentes statistiquement.

**1978** — A Darou, 4 variétés ne sont pas différentes statistiquement : 75-17 (7 p. 100), 55-437, 75-18 et 73-30.

A Bambey, la 75-17 est la moins contaminée (6 p. 100) et seules 75-18 et 55-437 ne lui sont pas différentes.

Le témoin de sensibilité 75-16 (code U.S. : PI 343 419) figure dans les deux essais et est la plus sensible des 40 variétés de Darou avec un taux de contamination artificielle de 78 p. 100, et la plus sensible des 36 variétés de Bambey (taux 81 p. 100).

**1979** — A Darou, les deux variétés 75-17 (2,5 p. 100) et 55-437 (4,5 p. 100) ne sont pas différentes. Viennent ensuite 73-30 puis 73-33.

A Bambey, 4 variétés ne sont pas différentes : 75-17 (4,5 p. 100), 55-437, 73-30 et 75-30. 73-33 se classe 6<sup>e</sup> avec un taux de contamination de 10 p. 100, 75-18 étant 5<sup>e</sup> (8,5 p. 100).

Pour les 2 stations, la 75-16 est de loin la plus sensible.

Sur l'ensemble des tests biologiques de ces quatre années, quatre variétés ressortent nettement :

— 75-17 = PI 337-409 avec un taux moyen de 8,1 p. 100,

— 55-437, avec un taux moyen de 10,1 p. 100,

— 75-18 = PI 337-394 avec un taux moyen de 13,4 p. 100,

— 73-30, avec un taux moyen de 13,8 p. 100.

La variété 73-33, avec un taux moyen de 19,1 p. 100, peut être considérée comme tolérante.

#### 5. — Relations entre les résultats du test biologique et la contamination naturelle observée aux champs.

On a calculé pour les différents essais les coefficients de corrélation entre les résultats du test biologique et la contamination naturelle des graines pour l'ensemble des deux dates de semis (après transformation angulaire des données en p. 100 pour le test biologique et en p. 1000 pour la contamination naturelle) (Tabl. V).

TABLEAU V. — Corrélations  
test biologique-contamination naturelle

(Correlations biological test-natural contamination)

Essai (Trial)	Nombre de variétés (No. of varieties)	Coefficient
Darou 1976	36	0,758 (***)
Bambey 1977	33	NS
Darou 1977	37	NS
Bambey 1978	36	0,462 (**)
Darou 1978	40	0,514 (***)
Bambey 1979	36	0,627 (***)
Darou 1979	39	0,411 (**)

(\*\*) Significatif à (significant at) 1 p. 100.

(\*\*\*) Significatif à (significant at) 1 p. 1 000.

NS : non significatif (not significant).

Dans 5 cas sur 7 on trouve des corrélations significatives.

Le dispositif expérimental a maintenu pendant trois ans les mêmes variétés à Bambey et Darou (Tabl. II et III). Le calcul de corrélation donne un coefficient  $R = 0,343^{***}$  sur 144 données transformées (12 variétés  $\times$  2 dates de semis  $\times$  3 ans  $\times$  2 stations). A Darou, les 13 mêmes variétés ont été maintenues cinq ans (1975 à 1979). Le calcul de corrélations entre taux de contamination naturelle et test biologique, effectué sur les résultats moyens pour les 2 semis, soit 65 résultats, donne  $R = 0,343^{**}$ .

Ces résultats permettent de penser qu'en sélectionnant les variétés, ou les descendance d'hybrides, à l'aide du test biologique par inoculation artificielle, on aboutira à des variétés beaucoup moins sensibles à la contamination par *A. flavus*.

#### 6. — Conclusions.

Les essais de comparaison de variétés pour la sensibilité à la contamination par *A. flavus* ont permis de montrer que la variété 55-437, ayant une valeur agronomique prouvée au Sénégal, avait une résistance voisine de celle de PI 337-409.

Deux autres variétés 73-30 et 73-33, qui ont un intérêt agronomique certain pour certaines régions du Sénégal, ont un comportement favorable aussi bien au test d'inoculation artificielle qu'aux champs.

Des travaux d'hybridation ont été entrepris à l'aide de géniteurs résistants aux Etats-Unis et au Sénégal. Les

résultats publiés [3] concluent à la possibilité de développer des variétés résistantes au test de contamination artificielle des graines. Les corrélations qui ont été trouvées entre les résultats de ce test et la contamination naturelle aux champs permettent de penser qu'on aboutira ainsi à des variétés beaucoup moins sensibles à la contamination.

En plus de cette sélection par utilisation des géniteurs résistants, deux voies méritent d'être suivies :

— la mesure de la sensibilité aux champs et en laboratoire par inoculation artificielle des variétés existantes ayant des qualités agronomiques et technologiques reconnues ;

— les recherches sur l'incidence de la coque dans la résistance à la contamination et d'autres facteurs éventuels susceptibles de renforcer ou de remplacer le rôle de barrière du tégument séminal à la pénétration du champignon.

### SUMMARY

**Results of four years of research on resistance of groundnut varieties to *Aspergillus flavus*.**

C. ZAMBETTAKIS, F. WALIYAR, A. BOCKELÉE-MORVAN and O. de PINS, *Oléagineux*, 1981, 36, N° 7, p. 377-385.

During the four campaigns 1976-77 to 1979-80, seven trials each comparing about forty varieties of groundnut were carried out in Senegal on the Bambey and Darou Stations to study their performance relative to *Aspergillus flavus* contamination. The natural contamination rate in the field is very different depending on the varieties and is correlated to the rate of contamination of the kernels by artificial inoculation carried out in the Paris Museum Laboratory, which proves the value of this test used to select resistant varieties. A Senegalese variety of proven agronomic value, 55-437, has resistance similar to that of the resistance control PI 337-409. Two other varieties, 73-30 and 73-33 also show favourable performance over a period of several years, and may be considered tolerant.

### BIBLIOGRAPHIE

- [1] KUSHALAPPA A. C., BARTZ J. A., NORDEN A. J. (1979). — Susceptibility of pods of different peanut genotypes to *Aspergillus flavus* group fungi. *Phytopathology*, 69, N° 2, p. 159-162.
- [2] MIXON A. C., ROGERS K. M. (1973). — Peanut accessions resistant to seed invasion by *Aspergillus flavus*. *Oléagineux*, 28, N° 2, p. 85-86.
- [3] MIXON A. C. (1979). — Developing groundnut lines with resistance to seed colonisation by toxin — producing strains of *Aspergillus* species. *P.A.N.S.*, 25, N° 4, p. 394-400.
- [4] MIXON A. C. (1980). — Comparison of pod and seed screening methods on *Aspergillus* spp. infection of peanut genotypes. *Oléagineux*, 35, N° 1, p. 34-35.
- [5] WALIYAR F. (1978). — La contamination des gousses et des graines d'arachide par l'*Aspergillus flavus* Link. *Bull. Soc. Mycol Fr.*, 94, N° 3, p. 305-327.
- [6] ZAMBETTAKIS C. (1975). — Etude de la contamination de quelques variétés d'arachide par l'*Aspergillus flavus*. *Oléagineux*, 30, N° 4, p. 161-167.
- [7] ZAMBETTAKIS C., BOCKELÉE-MORVAN A., WALIYAR F., ROSSION J. (1977). — Différences variétales de sensibilité de l'arachide à la contamination par *A. flavus* aux champs et en conditions artificielles. *Oléagineux*, 32, N° 8-9, p. 377-385.

### RESUMEN

**Resultados de cuatro años de investigaciones sobre la resistencia de variedades de maní a *Aspergillus flavus*.**

C. ZAMBETTAKIS, F. WALIYAR, A. BOCKELÉE-MORVAN y O. de PINS, *Oléagineux*, 1981, 36, N° 7, p. 377-385.

En las cuatro campañas 1976/77 a 1979/80, se realizó en Senegal siete ensayos que comparaban cada uno unas cuarenta variedades de maní, en las estaciones de Bambey y Darou, para estudiar su comportamiento con relación a la contaminación por *Aspergillus flavus*. El porcentaje de contaminación natural en los campos es muy distinto según las variedades, y tiene correlación con el porcentaje de contaminación de semillas por inoculación artificial realizado en el laboratorio del Museo de París, lo cual muestra el valor de esta prueba utilizada para la selección de variedades resistentes. Una variedad senegalesa cuyo valor agronómico ha sido demostrado, la 55-437, ofrece una resistencia parecida a la del testigo de resistencia PI 337-409. Otras dos variedades, la 73-30 y la 73-33, muestran también un comportamiento favorable a través de varios años, pudiendo considerarse tolerantes.

## Results of four years of research on resistance of groundnut varieties to *Aspergillus flavus*

C. ZAMBETTAKIS (1), F. WALIYAR (2), A. BOCKELÉE-MORVAN (3) and O. de PINS (4)

### I. — INTRODUCTION

Since 1972, and with greater intensity since 1974, a research program has been undertaken by the Senegalese Institute for Agricultural Research in collaboration, in France, with the Museum of Natural History and the I.R.H.O., to select groundnut varieties resistant to contamination by *Aspergillus flavus*.

Experiments conducted before 1976 [6,7] have made it possible to determine the conditions favouring natural contamination in the field and the ways of carrying out a biological test in the laboratory by artificial contamination of the kernels to select

resistant varieties. In the field, a dry period at the end of the agricultural cycle promotes contamination, whereas irrigation reduces it considerably. Significant differences in contamination of the pods, on the one hand, and of the kernels on the other, were found among the 33 varieties tested in 1975. The artificial inoculation test on kernels in the laboratory accounts, to a great extent, for differences in natural contamination in the field; the results vary greatly depending on the state of the kernel, i.e. the agricultural conditions. These results led to experiments being carried out in the field on two stations from 1977 on: Bambey Station in North-Central Senegal for the varieties with a hasty cycle (90 days) or a semi-late cycle (105-110 days) suited to the climatology in the zone, and the Darou Station in Southern Senegal for the late varieties (120 days and over). However, a group of 12 varieties was maintained common to both stations, having very diverse characteristics in terms of type (Spanish, Virginia), cycle, size of kernels, drought resistance, and resistance of kernels to contamination with *A. flavus* by artificial inoculation. Besides these varieties, every year and on both stations,

(1) Director of Research at C.N.R.S., Cryptogamy Laboratory of the Natural History Museum, Paris (L.A. 257 C.N.R.S.).

(2) Assistant at the Museum's Cryptogamy Laboratory.

(3) Annual Oil Crops Department. I.R.H.O., 11 Sq. Pétrarque, 75016 Paris (France).

(4) Research Engineer at the I.R.H.O., assigned to the I.S.R.A.



between 20 and 30 varieties from selection programs for different characters, such as productivity, quality of crops as oil mill or edible groundnuts, drought resistance etc., were tested, in order to evaluate their sensitivity to contamination before starting to distribute them for large-scale growing.

Apart from this immediate interest, the aim of the experiment was to find, if possible, parents handing on resistance to *A. flavus*, having agronomic characters already well-suited to Senegal (productivity, quality, drought resistance etc.) and to be certain that the choice of progeny made with the aid of the biological test on kernels (at present, the only usable one, being sufficiently precise and dependable under standardised conditions) would produce varieties which in fact would be less contaminated in the field. In effect, experiments have shown that other factors besides resistance to penetration by the fungus, presented by the kernel's seed coat (the only thing the test measures), could probably intervene, such as the varieties' drought resistance, sensitivity to attacks by soil insects or spikes (myriapods) which favour penetration by the fungus. Thus, very resistant varieties, according to the biological test, can, under certain agricultural conditions, be contaminated in the field, whereas certain varieties, sensitive to the test, may be only slightly contaminated in the field, if resistance of the shell to penetration intervenes.

We describe below the experiments carried out in 1976 on the I.S.R.A. Darou station, and in 1977-78-79 on the Darou station and at the Bambe C.N.R.A. For some multiannual interpretations, we have also used the previously-published results [7] of the 1975 Darou experiments.

## II. — MATERIAL AND METHODS

### 1. — Experiments in the field.

Under Senegalese conditions, characterised by a 3-5 month rainy season from the North to the South, followed by a long, very marked dry season, by far the most important mode of contamination by *Aspergillus flavus* is contamination in the soil at the end of the groundnut cycle. After the harvest, the plants dry rapidly in the field under the sun, and the kernels' water content drops rapidly below 10 p. 100. It is very exceptional for there to be any rain after the harvest, which may lead to the development of *Aspergillus flavus*, the more so as the rehumidification of the pods makes the shell more permeable to invasion by the fungus.

The first aim of experimentation in the field is to measure natural contamination in the soil of the different varieties under normal agricultural conditions. The experiments are carried out on two stations:

- Bambe: average rainfall 650 mm,  
length of rainy season  $104 \pm 34$  days;
- Darou: average rainfall 700 mm,  
length of rainy season  $115 \pm 18$  days.

The two stations differ more by the length and irregularity of the rainy season than by total rainfall.

There are two sowing dates on each station. The first sowing, as soon as the first rains fall, does not in principle promote contamination in the soil, if the rainy season is normal. The second sowing is at a month's interval, less if the first sowing is late due to the first rains being delayed; in principle, it is exposed to an end-of-cycle drought which promotes groundnut contamination in the soil (Table I).

The varieties tested each year appear in the tables of results. On each station, there are 2 sowing dates  $\times$  2 replications per variety (6 or 7 rows of 6 metres per plot). For each sowing date given in Table I, the harvest takes place about 90 days after for the hasty, 105 days for the semi-late and 120 days for the late. These theoretical cycle lengths are adjusted depending on conditions prevailing in a given year, so as to harvest the crop when it is ripe.

Drying is done naturally, by exposing the plants to the sun after they are pulled up. The pods are then spread out in the air in the laboratory.

### 2. — Measurements in the laboratory.

The measurements made and the experimental techniques used have already been described in greater detail [5,7]. Natural contamination of the pods is measured in the laboratory on a sample of 300 pods per plot (1 200 per variety and per station), with a binocular stereoscope. The contamination rate, expressed in p. 1 000, is the relation of the number of pods having *A. flavus* colonies to the total number of pods.

Each sample of 300 pods is then shelled by hand, and the

kernels on which visible colonies of *A. flavus* appear under the binocular stereoscope are counted. The contamination rate is expressed, as for the pods, for one thousand kernels.

The biological test by artificial inoculation is carried out on one of the two replications and for both sowing dates. For each sowing date, it bears on  $4 \times 25$  healthy kernels per Petri dish. From the 5th day of inoculation on, the number of kernels out of 25 bearing visible *A. flavus* colonies is noted; the contamination rate is expressed in p. 100.

## III. — RESULTS

### 1. — Influence of the sowing date.

It is very important for natural contamination (Table II). The second sowing date is generally the most contaminated due to greater end-of-cycle drought, which favours contamination in the soil. It is thus the second sowings which are the most contaminated on average, in 5 out of 6 trials, as shown in Table II, where only varieties common to both the Bambe and Darou stations for the years 1977, 1978 and 1979 appear. However, the end-of-cycle water deficit can differ greatly, depending on the length of the varieties' vegetative cycle (90, 105 or 120 days) and depending on soil water reserves, on each variety's vegetative development, its water consumption, daily rainfall etc.

At Bambe in 1977, the first sowing was the most contaminated on average, but the results are very different for the 12 varieties given in Table II, depending on whether they are hasty varieties (90-day cycle: 75-17, 75-18, 55-437, 73-30) semi-late varieties (105-110-day cycle: Florunner, 57-422, 73-33) or late (120-day cycle: GH 119-20, 47-16, Tifton 8, 70-112, 59-127). The hasty and late varieties were more contaminated at the first than at the second sowing, whereas the inverse is true for the semilate varieties.

Analysis of the rainfall during the 1977 campaign at Bambe enables hypotheses to be advanced to explain these differences in performance. There was very little rain (Table I) and, from mid-September on, all the varieties suffered greatly from drought, as only 14.7 mm fell during the last ten days of September and 2 mm in the first ten days of October. There was heavy rainfall on October 14th (41.3 mm), the last of the campaign.

The hasty varieties of the first sowing were already harvested (October 6th) after a severe end-of-cycle drought, which explains their heavy contamination, whereas the hasty varieties from the second sowing benefited from this rainfall.

For the late varieties of the first sowing, the hypothesis may be advanced that this rain fell once the pods were already formed, and had started to dry out in the soil. The October 14th rain would then have soaked them again, causing stretching and breaking of the seed coat and promoting penetration by *A. flavus*. On the other hand, the late varieties of the second sowing were only slightly contaminated in spite of a very severe end-of-cycle drought, since they were harvested only November 15th, more than a month after the last rains. Soil humidity may have fallen to too low a level for *A. flavus* to contaminate the groundnuts.

The influence of the sowing date on the results of the biological test is not negligible and had already been demonstrated [6]. Significant differences in some of the varieties' performance under the biological test appear between kernels from the 2 sowing dates, related to the natural contamination rate (Table III). It may be that the healthy-looking kernels chosen for the biological test present microscopic modifications of the seed coat due to difficult ripening conditions which promote penetration by the fungus.

### 2. — Natural contamination of the pods.

Average results (1st and 2nd sowing) of natural contamination measurements of pods and kernels, and of the biological test, are given in Table IV. For the various years and stations, there is generally a very significant correlation between external contamination of the pods and contamination of the kernels, the latter being always less heavy [1, 4, 5, 6]. Great differences are noted between natural contamination of the pods of different varieties, which are generally classified for this criterion in the same order as for natural contamination of the kernels. These data enable us to think that the shell is an element which may contribute, like the kernel's seed coat, to the varieties' resistance or sensitivity. According to the biological test on kernels, some varieties are quite sensitive to contamination, whereas in the field, they may have a low natural contamination rate. We have begun laboratory experiments on some of these varieties.



### 3. — Natural contamination of the kernels.

Measurement of natural contamination of the kernels, like that of the pods, is fairly imprecise, since it is carried out on the basis of 300-pod samples, which yield about 600 or less kernels after shelling. Furthermore, this natural contamination depends greatly on climatic conditions, and on the sowing and harvesting date as we stated above. In the field trials, a variety may not be contaminated simply because the agricultural conditions did not promote contamination. Our experimental design, with two sowing dates, makes it possible to obtain results corresponding to varied conditions, insofar as severity of contamination by *A. flavus* is concerned.

The biological test by artificial inoculation is much more precise and serves as a selection criterion for the obtainment of resistant varieties in Senegal and other countries. As it is an artificial test, it is very important to ensure that its results are coherent with the contamination rates observed in the field under natural conditions. It need not be strictly coherent, since the biological test measures only the seed coat's resistance to penetration by the fungus, whereas other factors may intervene, such as shell resistance, resistance to drought etc. However, when selecting varieties and progeny of the hybrids with the help of the biological test, one should take care to produce varieties which are on average much less contaminated than the vulnerable varieties under normal agricultural conditions. We will go into more detail below on the relations observed between the results of the biological test and natural contamination.

### 4. — Biological test.

The results which appear in Table IV are the average of the biological tests carried out on healthy kernels, from the first and second sowing. On the basis of the 8 replications, statistical interpretation was made with the aid of the Duncan test to the 5 p. 100 threshold, after angular transformation of the data, in 1978 and 1979; it appears in the tables. In 1976 and 1977, interpretation was made in Fisher blocks after transformation of the data.

**1976** — The contamination rate for the 36 varieties tested at Darou varies from 7 to 76 p. 100. The 3 first varieties, 75-17 (7 p. 100), 75-18 (10.5 p. 100), and 55-437 (17 p. 100) are not statistically different.

75-17 and 75-18 are the two varieties which Mixon [2] found to be resistant, respectively PI 337-409 and PI 337-394 P. The variety 55-437 is a variety of the Spanish type, selected at Bambey for its resistance to drought.

The US 26 variety can be mentioned; in 1975, it had shown quite good resistance to the test (10 p. 100 contamination compared to 4.5 p. 100 for 75-17). It is classified as average in 1976, with 31.5 p. 100, and above all, marked sensitivity for kernels from the 2nd sowing (45 p. 100) having suffered from end-of-cycle drought.

**1977** — At Darou, the first 5 varieties are not statistically different. In addition to the above 3, there is 73-33, a semi-late variety selected in Senegal for its drought-resistance, and 73-30 which is a short-cycle variety (90 days), resistant to drought and dormant.

At Bambey, the least contaminated variety is 55-437, but the special agricultural conditions meant that the test was not very selective; 11 varieties, including those already mentioned, are not statistically different.

**1978** — At Darou, 4 varieties are not statistically different: 75-17 (7 p. 100), 55-437, 75-18 and 73-30.

At Bambey, 75-17 is the least contaminated (6 p. 100) and only 75-18 and 55-437 are not different from it.

The sensitivity control 75-16 (US code: PI 343 419) appears in both trials, and is the most sensitive of the 40 varieties at Darou, with an artificial contamination rate of 78 p. 100, and the most sensitive of the 36 varieties at Bambey (rate 81 p. 100).

**1979** — At Darou, both varieties 75-17 (2.5 p. 100) and 55-437 (4.5 p. 100) are not different. Then come 73-30, and next 73-33.

At Bambey, 4 varieties are not different: 75-17 (4.5 p. 100), 55-437, 73-30 and 75-30. 73-33 is sixth with a contamination rate of 10 p. 100; 75-18 is fifth (8.5 p. 100).

For both stations, 75-16 is by far the most sensitive.

4 varieties stand out sharply from these four years' biological tests as a whole:

- 75-17 = PI 337-409 with an average rate of 8.1 p. 100,
- 55-437 with an average rate of 10.1 p. 100,
- 75-18 = PI 337-394 with an average rate of 13.4 p. 100,
- 73-30 with an average rate of 13.8 p. 100.

Variety 73-33, with an average rate of 19.1 p. 100, can be considered tolerant.

### 5. — Relations between the results of the biological test and natural contamination observed in the field

For the different trials, the correlation coefficients between the results of the biological test and natural contamination of the kernels were calculated for the two sowing dates as a whole (after angular transformation of the data into p. 100 for the biological test and into p. 1 000 for natural contamination) (Table V).

In 5 out of 7 cases, significant correlations are found.

The experimental design maintained the same varieties at Bambey and Darou for 3 years (Tables II and III). Calculation of the correlation gives a coefficient  $R = 0.343^{***}$  on 144 transformed data (12 varieties  $\times$  2 sowing dates  $\times$  3 years  $\times$  2 stations). At Darou, the same 13 varieties were maintained for five years (1975-1979). Calculation of the correlations between the natural contamination rate and the biological test, made on average results for both sowings, i.e. 65 results, gives  $R = 0.343^{**}$ .

These results allow us to think that by selecting the varieties or the hybrid progeny with the aid of the biological test by artificial inoculation, varieties much less sensitive to contamination by *A. flavus* will be produced.

### 6. — Conclusions

The trials to compare varieties for sensitivity to contamination by *A. flavus*, have made it possible to demonstrate that variety 55-437, with proven agronomic value in Senegal, had resistance close to that of PI 337-409.

Two other varieties, 73-30 and 73-33, which have a definite agronomic value for certain Senegalese regions, perform well both under the inoculation test, and in the field.

Hybridisation work has been undertaken with the aid of resistant parents in the USA and Senegal. The published results [3] conclude that it is possible to develop varieties resistant to the test for artificial contamination of the kernels. The correlations found between the results of this test and natural contamination in the field, make it possible to think that varieties much less sensitive to contamination will be produced.

In addition to this selection by using resistant parents, two paths are worth following up:

- measurement of sensitivity in the field and in the laboratory, by artificial inoculation of the existing varieties, having known agronomic and technological qualities;

- research on the impact of the shell on resistance to contamination, and other factors which might be likely to reinforce or replace the barrier role played by the seed coat against penetration by the fungus.